

А.С. Истомин, Н.А. Спирин, В.В. Лавров, М.А. Бякова

Разработка программного обеспечения для диагностики вида отклонения доменной плавки от нормального режима

Рассмотрены этапы разработки информационно-логической системы, позволяющей распознать наличие отклонения доменной плавки от нормального режима. Для этого проведено исследование влияния параметров хода доменной плавки на вероятность возникновения отклонения от нормального режима. Полученный программный продукт позволяет оперативно выявлять наличие отклонения, определять его тип и рекомендовать меры для ликвидации таких отклонений.

Ключевые слова: доменное производство; информационно-логическая система; разработка программного обеспечения; диагностика хода доменной плавки.

Современный процесс выплавки чугуна в доменной печи подвержен влиянию многих переменных контролируемых и неконтролируемых факторов, которые вызывают нарушения хода печи и ее теплового состояния и требуют высокой квалификации технологического персонала при управлении доменной плавкой.

Одним из способов диагностики и управления ходом доменной печи в настоящее время является использование экспертных систем, включающих в себя как детерминированные знания о процессе, так и формализованный практический опыт специалистов-доменщиков. В общем случае такие системы должны иметь навыки суждений о ходе доменной плавки по различным признакам, правильно анализировать их и помогать производственному персоналу своевременно предупреждать возможные отклонения от нормального режима, применяя различные технологические приемы воздействия на ход доменной плавки. Для этих целей существует множество математических моделей, но в большинстве случаев их основной проблемой является недостоверность значений входящих в них параметров. До сих пор актуальными остаются вопросы создания информационно-логической системы распознавания вида отклонения доменной плавки от нормального режима. Логические основы распознавания вида отклонения от нормального режима доменной плавки изложены в работах [1–15].

Для анализа данных, необходимых для выявления расстройства хода печи, необходимо в комплексе рассмотреть показатели плавки и работу печи в целом. Делая вывод на основе данных о химическом составе газа, качестве материалов, тепловом состоянии печи и других сведений об условиях плавки, необходимо выявить основные факторы и увязать их с изменениями технологических параметров.

Целью контроля над ходом доменной печи является своевременное принятие мер для установления причин расстройства печи и восстановления нормального хода в максимально короткие сроки. Поэтому главными задачами являются предупреждение нарушений и наиболее быстрое восстановление нормальной работы печи в случае их возникновения.

1. Постановка целей

Разработанный программный продукт проводит анализ работы печи по таким параметрам, как: температура периферийных газов, температура газов по газоотводам печи, параметры дутья, колошникового газа и перепады давления, а также распределение температур по диаметру колошника и состав продуктов доменной плавки. На основе значений этих параметров проводится расчет, результатом которого является вывод о состоянии хода печи и в случае отклонения – о возможной причине нарушения хода.

Программа предназначена для оперативного предоставления производственному персоналу полного объема информации о ходе процесса плавки. Ее использование позволит упростить управление

технологическим процессом, повысить эффективность производства, уменьшить вероятность простоев оборудования и аварий.

2. Функциональное моделирование

Первым этапом в разработке программного продукта было создание функциональной модели. Ее разработка была выполнена в программе AllFusion Process Modeler (BPwin) по стандарту IDEF0 (Integrated computer aided manufacturing DEFinition) [16]. Использование методики IDEF0 позволило создать функциональную структуру программного комплекса, выявить производимые им действия и связи между этими действиями, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции, что в конечном итоге позволило на ранней стадии проектирования предотвратить возможные ошибки.

Общее количество декомпозированных блоков функциональной модели составляет 90. Фрагмент диаграммы 1-го уровня функциональной модели подсистемы прогнозирования возникновения отклонений в ходе доменной плавки, представленный на рис. 1, включает следующие функции:

– *Сбор и первичная обработка данных (A1)* – обеспечивает автоматическое наполнение системы данными из АСУ ТП и корпоративной информационной системы (КИС). Сбор первичных данных производится в строго регламентированные моменты времени, которые установлены согласно требованиям инженерно-технологического персонала доменного цеха. Выходная информация служит источником для всех других подсистем.

– *Определить признаки нормальной работы доменной печи (A2)* – обеспечивает пересчет и анализ признаков отклонения параметров: отклонение расхода дутья; отклонение давления дутья; отклонение температуры дутья; отклонение общего перепада давления; отклонение нижнего перепада давления; отклонение верхнего перепада давления; окружную неравномерность температуры газа; распределение температуры колошниковога газа; отклонение усредненной температуры колошниковога газа; отклонение содержания Si в чугуна; отклонение содержания CO₂ колошниковога газа; отклонение температуры чугуна; отклонение основности шлака.

– *Определить признаки отклонения от нормального режима доменной плавки (A3)* – обеспечивает пересчет и анализ таких отклонений, как: периферийный газовый поток; центральный газовый поток; горячий ход плавки; холодный ход плавки; тугой ход плавки; верхние подвисания шихты; нижние подвисания шихты; количество срабатываемых подач.

– *Формирование рекомендаций по технологии ведения доменной плавки (A4)* выполняется на основании выявленных отклонений и происходит формирование рекомендации по корректировке ведения плавки.

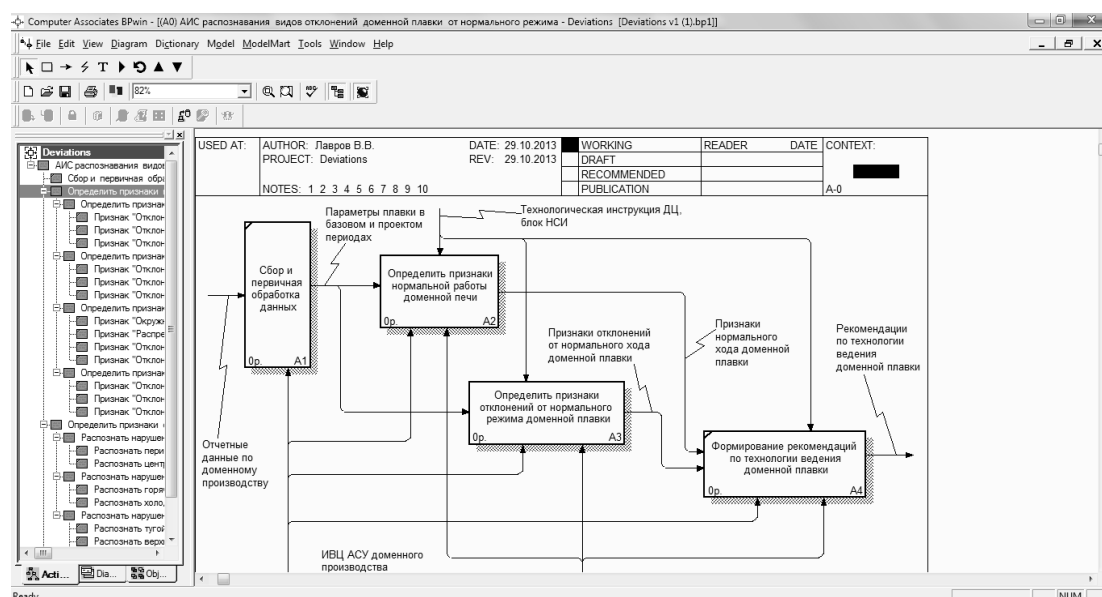


Рис. 1. Первый уровень функциональной модели информационной системы по распознаванию видов отклонений доменной плавки

Результаты функционального моделирования позволили в дальнейшем перейти к следующим этапам разработки системы – созданию архитектуры и реализации программного обеспечения системы.

3. Создание программного обеспечения

Следующим этапом в создании программного продукта является определение его архитектуры. На рис. 2 продемонстрирована архитектура программного обеспечения информационной системы, в которой выделены основные компоненты ее программной реализации.

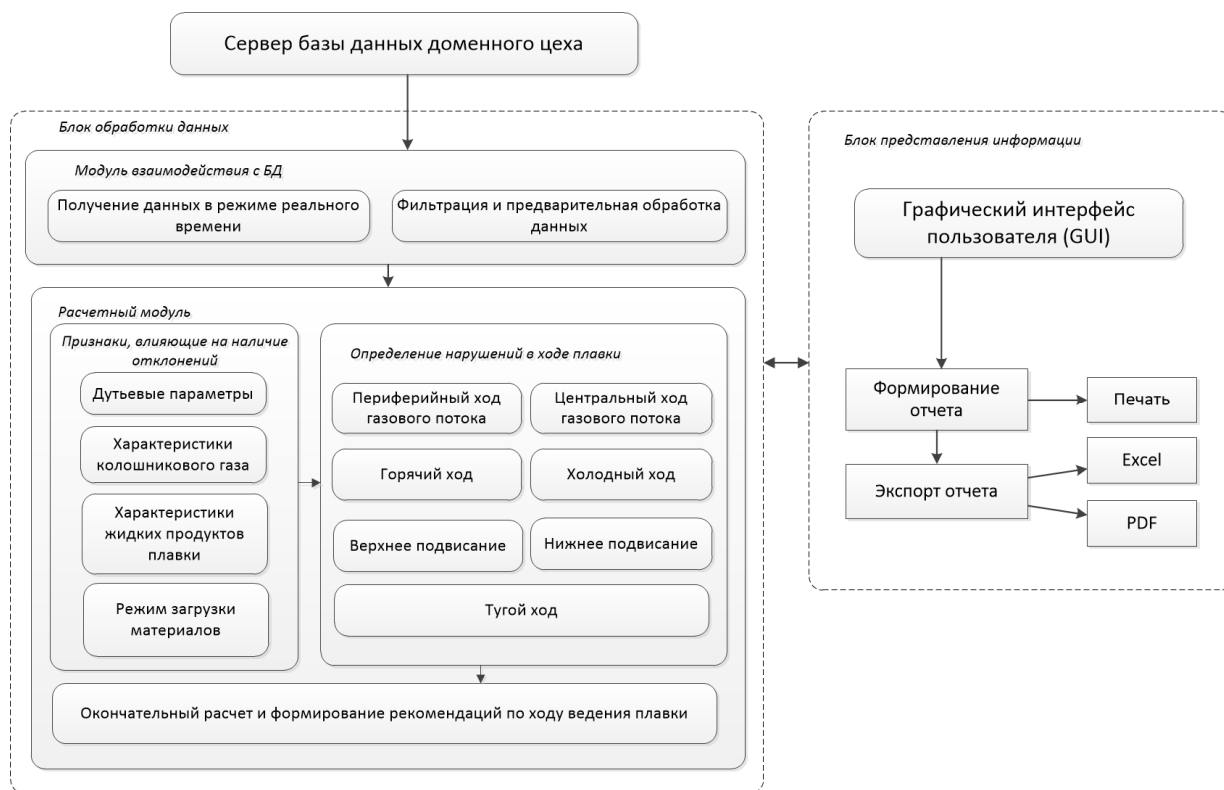


Рис. 2. Архитектура программного обеспечения

Архитектуру программного продукта условно можно разделить на несколько частей, первая представляет собой математическую библиотеку на основе проведенных и формализованных расчётов. Используя предварительно обработанный набор данных, расчётный модуль выполняет начальную стадию вычислений, суть которой заключается в том, чтобы проанализировать максимум возможных параметров, влияющих на возможность того или иного нарушения процесса плавки, а затем выполняет финальный расчет, на основании которого можно будет сделать вывод о наметившейся тенденции к определенному типу отклонения хода плавки. Вторая часть – это модуль, ответственный за работу с базой данных; он решает такие задачи, как обеспечение приложения данными в режиме реального времени, фильтрация данных, их усреднение и предоставление в том виде, в котором их можно было бы использовать в алгоритме. Другая часть представляет пользовательский интерфейс, который включает в себе основные функции для слежения за состоянием хода доменной печи. На текущий момент эта часть реализована в виде настольного приложения, однако благодаря такому архитектурному подходу в любой момент презентационная логика может быть легко реализована, например, в виде web-приложения или службы, уведомляющей о состоянии печи посредством мобильных устройств.

Программное обеспечение «Распознавание вида отклонений доменной плавки» разработано в соответствии с современными принципами построения прикладных программ (функциональность, расширяемость, интеграция с базами данных, интуитивно-понятный пользовательский интерфейс, безопасность, оценивание информации). Программный модуль является частью системы оптимизации тех-

нологического процесса доменной плавки, входит в состав автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «ММК» и предназначен для инженерно-технологического персонала.

В основе программной реализации лежит технология .NET, что дает дополнительную свободу при выборе платформы, а также языка программирования. Программный продукт написан на языке C# с использованием среды разработки Microsoft Visual Studio 2012 [17].

4. Описание программного продукта

Программный продукт производит следующие действия. Сначала программа загружает из базы данных значения параметров, используемых в расчёте, в частности температуру газов по газоотводам печи, температуру периферийных газов, параметры дутья, параметры колошниковога газа и перепады давления, распределение температур по диаметру колошника, состав жидких продуктов доменной плавки. Далее используется созданная математическая библиотека, с помощью которой пересчитываются и анализируются значения признаков и весовых функций.

Для удобства использования рассматриваемые признаки объединены в следующие группы:

- признаки, характеризующие дутьевые параметры;
- колошниковый газ;
- жидкие продукты плавки;
- режим загрузки материалов.

Программа производит расчёт весовых функций для распознавания вероятности:

- нормального режима работы доменной печи;
- нарушения устойчивости газового потока (наличие периферийного или центрального газового потока);
- нарушение теплового режима доменной плавки (горячий или холодный ход);
- нарушение ровного схода шихты в доменной печи (тугой ход, верхнее или нижнее подвисяние шихты).

Результат вычисления весовых функций, свидетельствующий о вероятности наличия или отсутствия соответствующих отклонений в ходе доменной плавки, предоставляется пользователю в численном и графическом виде.

В качестве примера на рис. 3 представлено главное окно программы, в котором отражено состояние работы доменной печи. При анализе учитываются три типа нарушений: нарушения теплового режима, нарушения газового хода и нарушения режима схода шихты. Для каждого из отклонений указано его состояние, а также есть возможность предоставления подробной информации по отклонению. На форме, изображенной на рис. 3, в виде графиков показана информация о параметрах, влияющих на вероятность возникновения определенного отклонения.

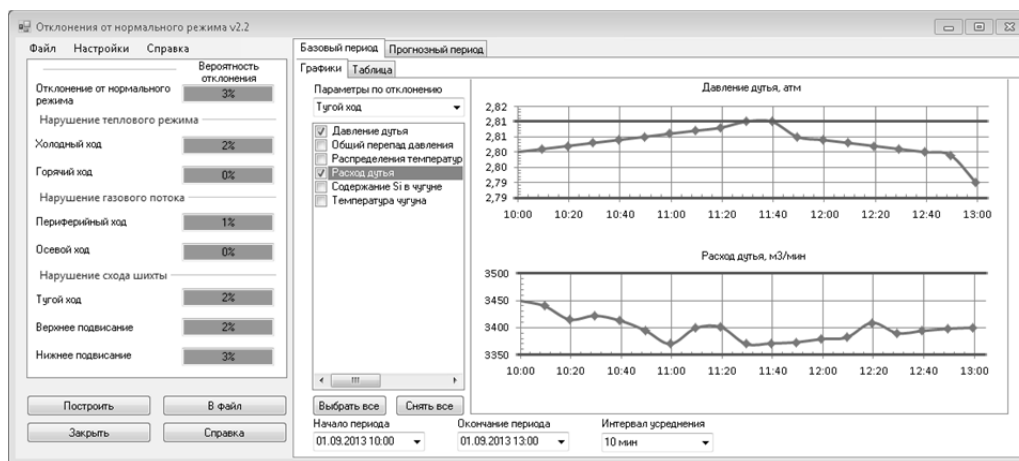


Рис. 3. Фрагмент окна программного обеспечения для распознавания вида отклонений доменной плавки от нормального режима

Закключение

Разработанный программный продукт позволяет пользователю оперативно выявлять наличие отклонения от нормального хода плавки и определять его тип по фактическим данным работающей печи, предоставляет ему возможность в любой момент просмотреть графическую информацию по каждому из параметров, используемых при расчете отклонений. Использование информационно-логической системы помогает производственному персоналу осуществлять диагностику хода печи в режиме реального времени, а также решать оперативные задачи управления технологией доменной плавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев В.И., Краснобаев В.А., Сарапулов Ю.А., Павлов Е.А. Экспертная система для диагностики и регулирования хода доменной печи // Международная научно-техническая конференция «Теория и практика производства чугуна». Украина; Кривой Рог, 2004. С. 484–487.
2. Френкель М.М., Федулов Ю.В., Белова О.А., Краснобаев В.А. Экспертная система управления ходом доменной плавки // Сталь. 1992. № 7. С. 15–18.
3. Спирин Н.А., Ипатов Ю.В., Лобанов В.И. и др. Информационные системы в металлургии / под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2001. 617 с.
4. Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В., Онорин О.П., Косаченко И.Е. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 462 с.
5. Онорин О.П., Спирин Н.А., Терентьев В.Л. и др. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2005. 301 с.
6. Юсфин Ю.С. Металлургия чугуна / под ред. Ю.С. Юсфина. М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. 774 с.
7. Blast furnace Phenomena and modelling / ed. by Yasuo Omori. London ; New York : Elsevier applied science, 1987. 631 p.
8. Lida O., Taniyochi S., Hetani T. Применение управляющей системы и искусственным интеллектом в доменном производстве. // Kawasaki Steel Techn Dept. 1992. No. 26. P. 30–37.
9. Power D.J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues // Americas Conference on Information Systems. Long Beach, California, 2000.
10. Vapaavuori E. Application of expert systems and knowledge based systems to support operation of iron blast furnace // Expert systems with applications, 1997. V. 12, No. 3. P. II.
11. Ueda S., Natsui S., Ariyama T., Nogami H., Yagi J.I. Recent progress and future perspective on mathematical modelling of blast furnace // ISIJ International, 2010. V. 50, No. 7. P. 914–923.
12. Matsuzaki S., Nishimura T., Shinotake A., Kunitomo K., Naito M., Sugiyama T. Development of mathematical model of blast furnace // Nippon steel technical report. July 2006. No. 94. P. 87–95.
13. Hera P., Birlan F., Oprescu F., Alexandru E.-M., Hera M. Modeling of metallurgical continuous processes in the blast furnace // U.P.B. Scientific Bulletin. Series B. 2011. V. 73, Issue 4. P. 171–182.
14. Masakazu I., Kazuhiro O., Tetsui H. Numerical Study on Metal/Slag Drainage Rate Deviation during blast furnace tapping // ISIJ International, 2009. V. 49, No. 8. P. 1123–1132.
15. Емельянов С.В., Коровин С.К., Мышляев Л.П., Рыков А.С., Евтушенко В.Ф., Кулаков С.М., Бондарь Н.Ф. Теория и практика прогнозирования в системах управления. Кемерово ; Москва : Издат. объединение «Российские университеты» : Кузбассвузиздат – АСТШ, 2008. 487 с.
16. Дубейковский В.И. Эффективное моделирование с CA ERwin Process Modeler (BPwin; AllFusion Process Modeler). М. : Диалог-МИФИ, 2009. 384 с.
17. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5 / пер. с англ. 6-е изд. М. : Вильямс, 2013. 1312 с.

Истомин Александр Сергеевич. E-mail: Pyfthon@live.com

Спирин Николай Александрович, д-р техн. наук, профессор. E-mail: n.a.spirin@urfu.ru

Лавров Владислав Васильевич, д-р техн. наук, профессор. E-mail: v.v.lavrov@urfu.ru

Быкова Мария Андреевна. E-mail: byakova1994@mail.ru

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Поступила в редакцию 28 апреля 2016 г.

Istomin Alexander S., Spirin Nikolai A., Lavrov Vladislav V., Byakova Maria A. (Ural Federal University, Russian Federation).

Software development for diagnostics of deviation type of blast furnace from normal mode.

Keywords: blast-furnace production; information-logical system; software development; diagnostics progress blast-furnace production.

DOI: 10.17223/19988605/36/10

Considered the task of creating software to diagnose deviations from normal mode to blast smelting is solved on the basis of a study of the practical experience of melting specialists from Magnitogorsk Iron and Steel Works. Usually approach to solve such problems is

to create expert systems on the basis of various signs giving advice on keeping the melting. However, since the blast smelting process has enormous complexity, many issues are still unresolved. Among them the task of diagnosis progress of blast furnace to identify deviations from the normal mode with an aim to timely take measures to eliminate the causes of disorders of the furnace smelting process. To accomplish this, a mathematical model was created, which was presented in earlier works. Concerning this article, here is a description of the process of creating software based on above-mentioned mathematical model.

The developed software analyzes the operation of the furnace by parameters such as the temperature of the peripheral gas, flue gas temperature, blast furnace gas and the pressure drops and the temperature distribution on the furnace top diameter and composition of blast furnace products. Based on these parameters, the calculation is performed, which resulted in a conclusion about the state of the furnace in case of deviation - about possible reason for disturbances of melting process.

Software development is performed on already well-established methodology. In this case, the first step is functional modeling. Relying on the principle of decomposition, it allows you to split the task into manageable lots of smaller tasks and to begin addressing them. Developed functional model contains 90 blocks on 3 levels of decomposition.

The next step is to describe the architecture of the software under development. According to this description, the software consists of two blocks: data processing unit, using the module for communicate with the database, gets preprocessed data set, then calculates it using the above-mentioned mathematical model. The result is displayed in the unit that present information, which is able to present these results in various forms.

During creating a software, modern development tools are used. Software implementation based on .NET technology. The application was developed using C# language in the development environment Microsoft Visual Studio 2012.

The resulting software allows quickly identify deviations from normal (including disturbances of the thermal conditions, disturbances of the gas stream and disturbance of charge descent), and identify the probability of their occurrence, as well as able to indicate possible ways to restoring the required operating mode of the blast furnace.

REFERENCES

1. Solovev, V.I., Krasnobaev, V.A., Sarapulov, U.A. & Pavlov, E.A. (2004) [Expert system for diagnosis and management of a blast furnace melting operation]. *Teoriya i praktika proizvodstva chuguna* [Theory and practice of ironmaking]. International Scientific and Technical Conference. May 24–27, 2004. Ukraine; Krivoy Rog. pp. 484–487. (In Russian).
2. Frenkel, M.M., Fedulov, U.V., Belova O.A. & Krasnobaev V.A. (1992) Ekspertnaya sistema upravleniya khodom domennoy plavki [Expert system for management of blast furnace melting operation]. *Stal' – Steel*. 7. pp.15–18.
3. Spirin, N.A., Ipatov, U.V. & Lobanov, V.I. (2001) *Informatsionnye sistemy v metallurgii* [Information systems in metallurgy]. Ekateriburg: USTU.
4. Spirin, N.A., Lavrov, V.V., Ribolovlev, V.U., Krasnobaev, V.A., Onorin, O.P. & Kosachenko, I.E. (2011) *Model'nye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v ASU TP domennoy plavki metallurgii* [Model Decision Support System in APCS metallurgy blast furnace]. Ekateriburg: South Ural Federal University
5. Onorin, O.P., Spirin, N.A., Terentiev, V.L. (2005) *Komp'yuternye metody modelirovaniya domennogo protsessa* [Computer modeling techniques blast furnace process]. Ekateriburg: USTU
6. Jusfin, U.S. (2004) *Metallurgiya chuguna* [Ironmaking]. Moscow: Akademkniga.
7. Omori, Y. (ed.) (1987) *Blast furnace Phenomena and modeling*. London and New York.
8. Lida, O., Taniyochi, S. & Hetani, T.(1992) Application of a techniques to blast furnace operation. *Kawasaki Steel Techn Dept*. 26. pp. 30–37.
9. Power, D.J. (2000) Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. *Americas Conference on Information Systems*. Long Beach, California.
10. Vapaavuori, E. (1997) Application of expert systems and knowledge based systems to support operation of iron blast furnace. *Expert Systems with Applications*. 12(3). pp. II. DOI: 10.1016/S0957-4174(97)83777-3
11. Ueda, S., Natsui, S., Ariyama, T., Nogami, H. & Yagi, J.I. (2010) Recent progress and future perspective on mathematical modelling of blast furnace. *ISIJ International*. 50(7). pp. 914–923. DOI: 10.2355/isijinternational.50.914
12. Matsuzaki, S., Nishimura, T., Shinotake, A., Kunitomo, K., Naito, M. & Sugiyama, T. (2006) Development of mathematical model of blast furnace. *Nippon steel technical report*. 94. pp. 87–95.
13. Hera, P., Birlan, F., Oprescu, I., Alexandru, E.-M. & Hera, M. (2011) Modeling of metallurgical continuous processes in the blast furnace. *U.P.B. Scientific Bulletin, Series B*. 73(4). pp. 171–182.
14. Masakazu, I., Kazuhiro, O. & Tetsui, H. (2009) Numerical Study on Metal/Slag Drainage Rate Deviation during blast furnace tapping. *ISIJ International*. 49(8). pp. 1123–1132. DOI: 10.2355/tetsutohagane.96.353
15. Emelyanov, S.V., Korovin, S.K., Myshlyaev, L.P., Rykov, A.S., Evtushenko, V.F., Kulakov, S.M. & Bondar, N.F. (2008) *Teoriya i praktika prognozirovaniya v sistemakh upravleniya* [Theory and practice of forecasting in control systems]. Kemerovo: Russian Universities, Kuzbassvuzizdat – ASTSH.
16. Dubeykovsky, V.I. (2009) *Effective modeling with CA ERwin Process Modeler (BPwin; AllFusion Process Modeler)*. Dialog-MEPI.
17. Troelsen, A. (2013) *Pro C# 5.0 and the .NET 4.5 Framework*. 6th ed.